«DIGITALE ZWILLINGE» VON SONDERBAUWERKEN

Die digitale Erfassung von Sonderbauwerken bis hin zur Erstellung von «digitalen Zwillingen» ist eine neue Möglichkeit, um qualitativ hochwertige Datengrundlagen für den Unterhalt sowie Sanierungs- und Umbauprojekte zu schaffen. Sie bietet eine einfachere Alternative zur klassischen Vermessung, falls von einem Bauwerk keine oder nur veraltete Bauwerkspläne vorliegen. Zudem ermöglichen die Daten eine effizientere Bearbeitung des Generellen Entwässerungsplans GEP.

André Meng, Basler & Hofmann AG*
Lukas Rüdin, Basler & Hofmann AG

RÉSUMÉ

CRÉATION DE «JUMEAUX NUMÉRIQUES» DES OUVRAGES SPÉCIAUX

Au sein des ouvrages spéciaux comme les bassins d'eau de pluie, les déversoirs d'orage et les stations de pompage des eaux usées, l'utilisation des écoulements d'étranglement et la commande des pompes peuvent fortement influencer le comportement du réseau de canalisations durant des épisodes de précipitations. Pour que le Plan général d'évacuation des eaux (PGEE) puisse tenir compte de leur grande importance, les ouvrages spéciaux existants doivent être saisis correctement et pris en compte dans l'hydraulique du réseau de canalisations. Leur saisie numérique permet de clarifier de nombreuses questions en lien avec le fonctionnement d'un ouvrage ou avec le calcul hydraulique du «jumeau numérique». De plus, les relevés fournissent une base de données adaptée pour l'entretien, les projets d'assainissement ou de transformation, la création d'un modèle BIM ou pour une modélisation hydraulique en 3D. Si ces relevés sont réalisés dans le cadre d'inspections qui seront de toute façon effectuées, les frais supplémentaires pour la saisie numérique, post-traitement des données compris, restent faibles. Dans le cadre du PGEE de l'association d'épuration des eaux usées Höfe (VGEP AVH), différentes possibilités de saisie numérique des ouvrages spéciaux et de post-traitement et d'exploitation des données ont été testées en pratique. Dans ce contexte, les relevés réalisés à l'aide d'un scanner laser portable et d'une caméra à 360° se sont avérés adéquats.

EINLEITUNG

Regenbecken, Regenüberläufe und Abwasserpumpwerke (im Folgenden als Sonderbauwerke bezeichnet) haben eine zentrale Funktion in der Siedlungsentwässerung. In den Sonderbauwerken kann durch die Einstellung von Drosselabflüssen und die Steuerung von Pumpen das Verhalten des Kanalnetzes während Niederschlagsereignissen entscheidend beeinflusst werden. Deshalb kommt ihnen in der Generellen Entwässerungsplanung (GEP), insbesondere im Teilprojekt Entwässerungskonzept, eine grosse Bedeutung zu.
Im Rahmen der Generellen Entwässerungsplanung des Abwasserverbands Höfe (VGEP AVH) wurden verschiedene Möglichkeiten zur digitalen Erfassung bis hin zur Erstellung eines «digitalen Zwillings» von Sonderbauwerken in der Praxis getestet. Daraus wurden über den GEP hinaus Erkenntnisse zur Nutzung der Daten im Rahmen des Unterhalts oder für Sanierungs- und Umbauprojekten von Sonderbauwerken gewonnen.

«DIGITALE ZWILLINGE» FÜR DEN AVH

Der Abwasserverband Höfe (AVH) umfasst die Gemeinden Freienbach, Wollerau und Feusisberg. Der Ortsteil Bennau

** Kontakt: andre.meng@baslerhofmann.ch*

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

des Bezirks Einsiedeln ist über einen Anschlussvertrag an den Verband angeschlossen. Im Zeitraum 2017 bis 2024 wird ein gemeinsamer Genereller Entwässerungsplan über das gesamte Verbandsgebiet (VGEP) erarbeitet.
Der AVH betreibt die Abwasserreinigungsanlage Höfe, rund 12 km Verbandskanäle sowie die meisten Sonderbauwerke. Letztere sind heute im Eigentum verschiedener Trägerschaften. Im primären Abwassernetz bestehen 15 Regenbecken, 17 Regenüberläufe und 33 Abwasserpumpwerke.

DIGITALE ERFASSUNG

Die digitale Erfassung der Sonderbauwerke hat folgende Ziele:
- Verifikation bzw. Erfassung der hydraulisch zentralen Geometrien (Höhe und Länge von Überfallkanten, Stellung von Drosselblechen, Grösse von Bodenöffnungen etc.) als Grundlage für die hydraulische Berechnung bzw. Überprüfung der Drosselabflüsse/Weiterleitmengen.
- Schaffen einer einfachen und zielgerichteten Datengrundlage bei Bauwerken mit fehlenden Bestandsplänen.
- Erfassung zusätzlicher Attribute gemäss Stammkarten Sonderbauwerke.
- Erfassung, Dokumentation und Beurteilung des baulichen Zustands als Grundlage für eine Massnahmenplanung inkl. Grobkostenschätzung.
- Schaffung von zeitgemässen Grundlagen für die Unterhaltsplanung, insbesondere die Ausschreibung von Umbau- und Sanierungsprojekten.
- Prüfung der Nutzung des «digitalen Zwillings» für eine 3D-Modellierung bzw. ein Building Information Modeling (BIM)-Bestandsmodell.

VERSCHIEDENE AUFNAHMEMETHODEN

Um die Eignung der verschiedenen Aufnahmemethoden zur digitalen Erhebung der Daten zu prüfen, wurde ein Test folgender Aufnahmemethoden durchgeführt:
- tragbarer Laserscanner *BLK2GO*
- 360°-Kamera
- stationärer Laserscanner

Dafür wurden drei Sonderbauwerke ausgewählt: ein Regenbecken, ein Regenüberlauf und ein Abwasserpumpwerk. Anhand der Resultate dieser Aufnahmen wurde die Erfassung der restlichen Bauwerke geplant und durchgeführt. Je nach Bauwerksart und -grösse wurden unterschiedliche Aufnahmemethoden angewandt.

Tragbarer Laserscanner

Als tragbarer, bildgebender Laserscanner wurde ein *BLK2GO* von *Leica* eingesetzt. Während der Aufnahme bewegt sich die Person, die die Daten erfasst, mit dem Laserscanner durch das Bauwerk *(Fig. 1)*. Die erfasste Punktwolke wird dabei in Echtzeit auf einem Smartphone dargestellt, sodass während der Aufnahme jederzeit erkennbar ist, welche Teile des Bauwerks bereits ausreichend erfasst sind und wo noch Daten aufgenommen werden müssen. Auch verwinkelte Bauwerke unterschiedlicher Grösse können somit rasch aufgenommen werden. Die aufgenommene Punktwolke kann mit entsprechender Software in ein *Mesh* (Polygonnetz) umgewandelt werden.

360°-Kamera

Als 360°-Kamera wurde eine *2xFulldome*-Kamera eingesetzt. Damit können an verschiedenen Stellen im Sonderbauwerk 360°-Bilder aufgenommen werden. Die Kamera ist etwa so gross wie ein Smartphone und kann auf einem Stab montiert werden, um sie für die Aufnahmen über den Kopf des Bedieners zu halten und so eine 360°-Rundumsicht zu ermöglichen. Mit der Montage auf einem Stab kann die Kamera für eine Aufnahme auch von der Oberfläche aus in einen Schacht gehalten werden.

Stationärer Laserscanner

Um die Genauigkeit und Effizienz der mobilen Datenerfassung mit «klassischen» Erfassungsmethoden zu vergleichen, kam im Test als dritte Erfassungsmethode ein stationärer Laserscanner zum Einsatz. Der Test zeigte, dass die klassische Erfassung in einem Sonderbauwerk anspruchsvoll und zeitintensiv ist.
- Zur Erfassung sämtlicher Bereiche eines Bauwerks ist ein mehrmaliges Umplatzieren notwendig: Je verwinkelter ein Sonderbauwerk ist, desto öfter muss der Laserscanner umgestellt werden.
- In sehr kleinen Bauwerken gibt es Einschränkungen, da der Laserscanner stabil auf einem Stativ aufgestellt werden muss.
- Grosser Zeitbedarf für die Aufnahmen sowie die Auswertung im Büro infolge der zahlreichen notwendigen Aufnahmepositionen.

ERKENNTNISSE

GUTE ANWENDBARKEIT TRAGBARER LASERSCANNER

Die wesentliche Erkenntnis aus dem Vergleich der Aufnahmemethoden ist, dass mit dem tragbaren Laserscanner trotz teilweise schlechten Lichtverhält-



Fig. 1 Aufnahme eines Regenbeckens mit dem tragbaren Laserscanner BLK2GO.

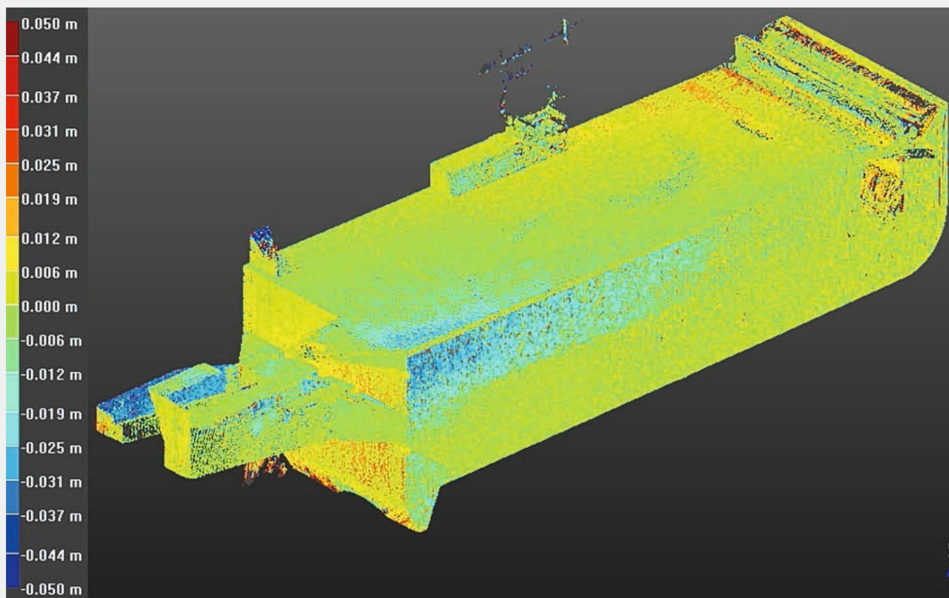


Fig. 2 Darstellung der Differenz zwischen Erfassung mit stationärem und tragbarem Laserscanner im Regenbecken Untereulen.

nissen und nassen Oberflächen eine hohe Genauigkeit erreicht wird. In einem grossen Teil des Bauwerks weichen die Aufnahmen mit dem tragbaren Laserscanner um weniger als 1 cm von der Aufnahme mit dem stationären Laserscanner ab *(Fig. 2)*. In einigen schwerer zugänglichen Bereichen des Bauwerks sind die Abweichungen mit bis zu 5 cm etwas grösser, die relativen Abmessungen im Nahbereich stimmen aber auch in diesen Bereichen gut überein.
Für die Anwendung in der Generellen Entwässerungsplanung und auch als Grundlage für weitere Planungen ist die Aufnahme mit dem tragbaren Laserscanner ausreichend genau. Entsprechend wurde für die weitere Erfassung der Sonderbauwerke auf die Aufnahme mit einem stationären Laserscanner verzichtet.

NUTZUNG DER AUFNAHMEN AUF EINER WEB-PLATTFORM

Die Nutzung der Aufnahmen eines Laserscanners (Punktwolke, Mesh) erfordert im Normalfall den Einsatz von CAD- oder Spezialsoftware. Dies bedingt zum einen die notwendigen Softwarekenntnisse und zum anderen die entsprechenden Lizenzen. Eine alternative Möglichkeit bietet eine Web-Plattform, über die die aufbereiteten Daten direkt in einem Web-Browser genutzt werden können. Eine solche Plattform ermöglicht es je nach Konfiguration ausserdem, 360°-Bilder in die Aufnahmen des Laserscans zu integrieren und die beiden Aufnahmeergebnisse synchron darzustellen *(Fig. 3)*. Damit liegt bereits ein «einfacher digitaler Zwilling» eines Sonderbauwerks vor.

VERGLEICH DER AUFNAHMEMETHODEN

Basierend auf den Erkenntnissen aus den Aufnahmen der Sonderbauwerke des Abwasserverbandes wurde ein Vergleich der beiden mobilen Aufnahmemethoden vorgenommen. Die wichtigsten Punkte sind im Folgenden beschrieben.
Sowohl der mobile Laserscanner als auch die 360°-Kamera können nach einer kurzen Instruktion von Personen ohne Ausbildung in der Vermessung eingesetzt werden. Der Einsatz des mobilen Laserscanners bedingt, dass ein Einstieg ins Bauwerk möglich ist und das Bauwerk eine gewisse Grösse aufweist (kleinste Abmessung mindestens rund 1,5 m). Bei der Aufnahme ist ein Abstand von mindestens 0,5 m zur gegenüberliegenden Wand erforderlich. Auch in langen Bauwerken ohne orientierende Strukturen (z.B. Speicherkanäle) stösst der mobile Laserscanner an seine Grenzen (Positionierung von orientierenden Strukturen notwendig). Entsprechend ist der mobile Laserscanner für den Einsatz in sehr engen und kleinen Regenüber-

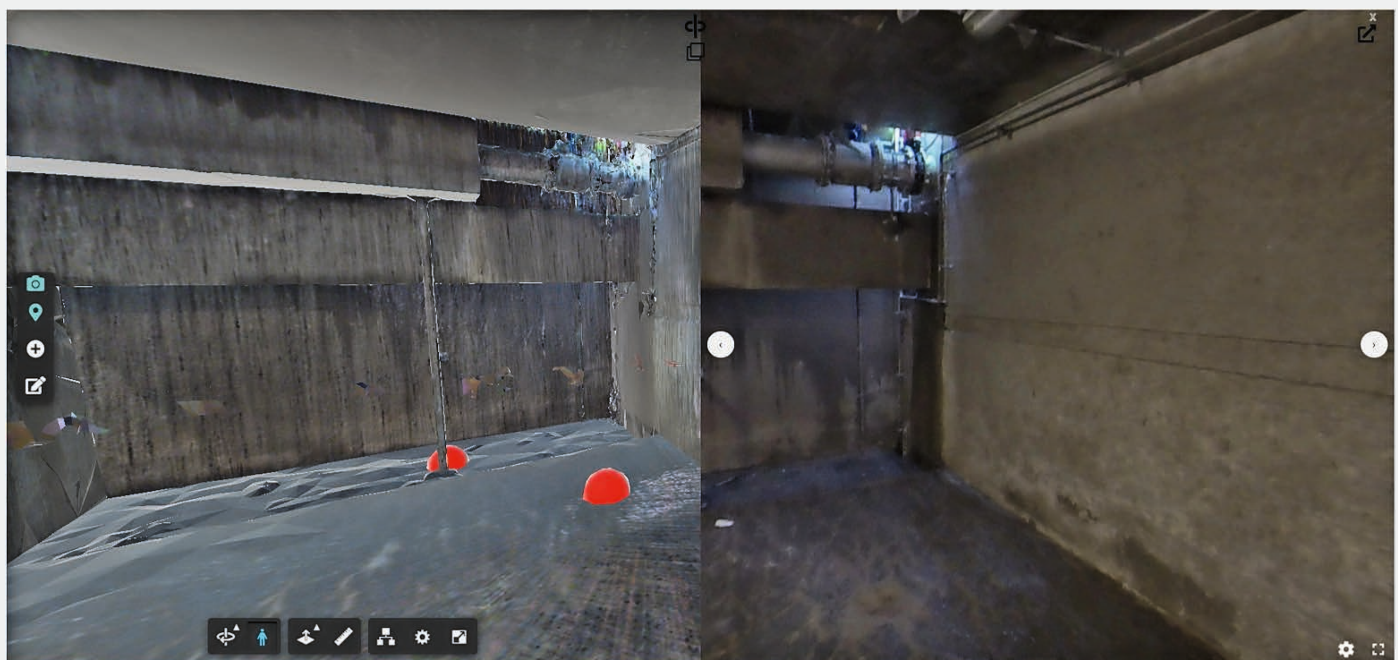


Fig. 3 Synchrone Darstellung von Mesh (Aufnahme mit mobilem Laserscanner) auf der linken Seite und 360°-Bild auf der rechten Seite.

läufen sowie in Abwasserpumpwerken, bei denen keine sichere Standfläche vorhanden ist, nicht geeignet. Demgegenüber kann die 360°-Kamera überall eingesetzt werden. Auch Aufnahmen «über Kopf» durch einen Schacht sind möglich *(Fig. 4)*. Für die Nutzung der Aufnahmedaten ist bei den Aufnahmen des mobilen Laserscanners eine Auswertung und Weiterbearbeitung der Daten im Büro erforderlich. Nach der Aufbereitung sind die Daten grundsätzlich für alle nutzbar. Für eine rasche Orientierung im Bauwerk sind die 360°-Bilder jedoch besser geeignet. Die Aufnahmen des mobilen Laserscanners (Punktwolken, Mesh) bieten im Gegensatz zu den 360°-Bildern allerdings die Möglichkeit, Geometrien des Bauwerks zu vermessen und beliebige Schnitte durch das Bauwerk zu legen *(Fig. 5)*. Zudem bieten die geometrischen Informationen der Punktwolken bzw. Mesh auch geeignete Grundlagen für ein BIM-Bestandsmodell oder eine hydraulische 3D-Berechnung. Die bessere Bildqualität kann mit der 360°-Kamera erreicht werden. Damit bilden die 360°-Bilder die bessere Grundlage zur Zustandsbeurteilung der Sonderbauwerke. Infolge der teilweise schlechten Lichtverhältnisse sind jedoch für Details weiterhin «klassische» Aufnahmen mit Blitz zu empfehlen.
Tabelle 1 fasst den Vergleich zusammen.



Fig. 4 360°-Bild «über Kopf» durch einen Schacht in ein Pumpwerk.



Fig. 5 Durch eine mit mobilem Laserscanner aufgenommene Punktwolke, weiterverarbeitet als Mesh, können beliebige Schnitte gelegt werden.

	BLK2GO (Mobiler Laserscanner mit 300°Video)	**360° Bilder** (2xFulldome Kamera)
Anwenderfreundlichkeit bei der Aufnahme	– nur in Bauwerken **ab gewisser Grösse** (kleinste Abmessung mindestens rund 1,5 m) – **Einstieg** in Bauwerk muss möglich sein	– einfache Anwendung – **überall** möglich
Zustandsbeurteilung	Mässige Bildqualität erlaubt einen **groben Überblick** über den Allgemeinzustand des Bauwerks.	– Bildqualität erlaubt einen **guten Überblick** über den Allgemeinzustand des Bauwerks. – Für Details bei schlechten Lichtverhältnisse braucht es Kamera mit Blitz.
Nutzen für Orientierung/Hydraulik	– **Orientierung** im Bauwerk zum Verständnis der Funktionsweise – Anwendung braucht etwas **Übung** und je nach Anwendung **Software**	– **einfache Orientierung** im Bauwerk zum Verständnis der Funktionsweise – für **alle Personen** möglich
Nachvermessung von Geometrien	beliebige **Geometrien** aus Punktwolke **vermessbar**	nicht möglich
Erzeugung von Schnitten	**beliebige Schnitte** möglich	nicht möglich
Verwendbarkeit für BIM-Modell	Nutzbar für ein **BIM-Bestandesmodell** als Grundlage für Sanierungen/Umbauten von Bauwerken oder für **3D-Modellierungen**	nein

Tab. 1 Vergleich der Aufnahmemethoden tragbarer Laserscanner und 360°-Kamera.

MEHRWERT DANK «DIGITALEM ZWILLING»

WERTVOLLE INFORMATIONEN FÜR HYDRAULIK UND GEP-BEARBEITUNG

Ein wesentlicher Vorteil der digitalen Erfassung der Sonderbauwerke inkl. der Erstellung eines «einfachen digitalen Zwillings» in der GEP-Bearbeitung ist, dass viele Fragen im Zusammenhang mit der hydraulischen Berechnung ohne erneute Feldbegehung geklärt werden können. Die Funktionsweise von komplexen Bauwerken kann im Büro nachvollzogen und die Drosseleinstellungen oder weitere relevante Geometrien für die Hydraulik können überprüft bzw. nachgemessen werden. Aus Redundanzgründen können die digitalen Aufnahmen bei den Begehungen durch eine klassische Vermessung der aus Sicht Hydraulik wichtigsten Abmessungen ergänzt werden.
Die Daten ermöglichen es, die Bauwerke virtuell im Büro zu begehen. Dies reduziert Folgekosten und Risiken einer weiteren Begehung mit Einstieg in die Bauwerke. Wird die digitale Erfassung im Rahmen von ohnehin stattfindenden Begehungen der Sonderbauwerke durchgeführt, sind die Zusatzkosten relativ gering. Der Aufenthalt bei den Bauwerken ist nur unwesentlich länger, der grössere Teil des Zusatzaufwands fällt in der Datenauswertung im Büro an.

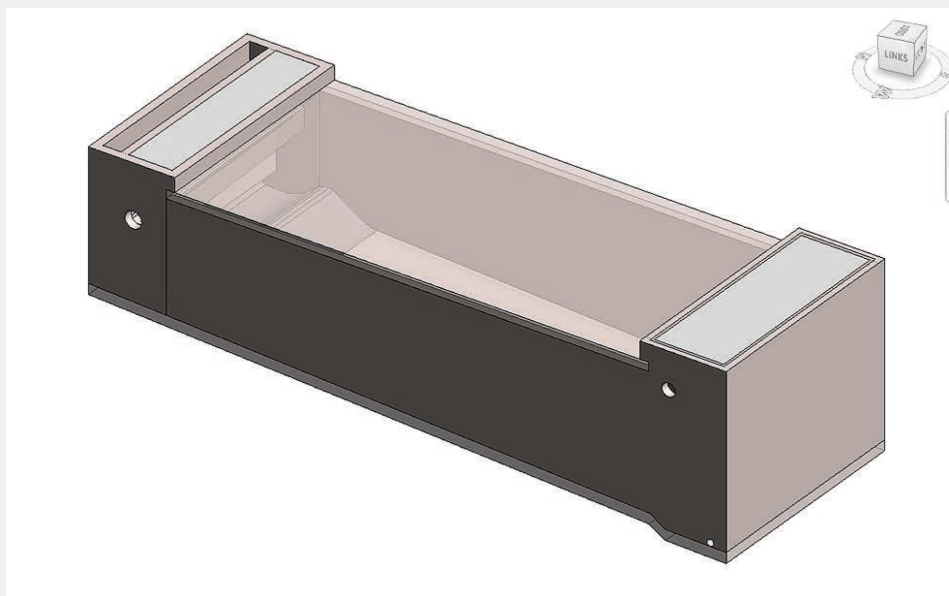


Fig. 6 Beispiel eines basierend auf Laserscan-Aufnahmen aufgebauten BIM-Bestandsmodells.

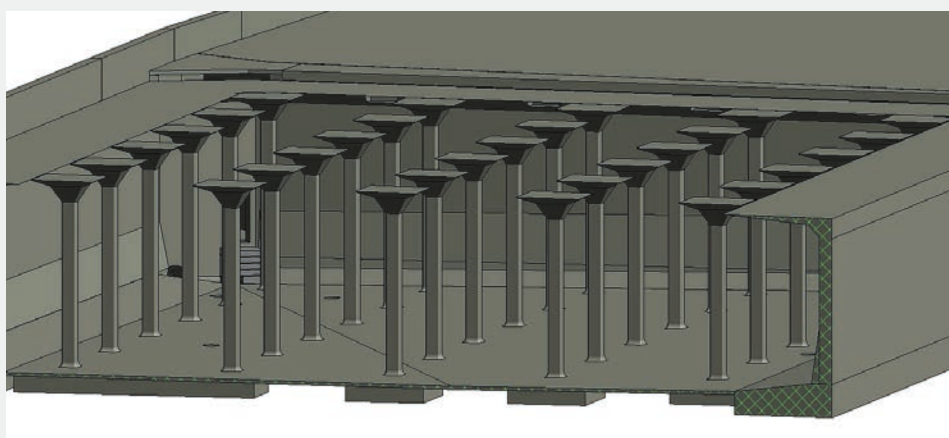


Fig. 7 Blick in Kammer 1 des Wasserreservoirs Strickhof in der Stadt Zürich.

BEI UMBAU UND SANIERUNG

Laserscan-Aufnahmen bilden bei anstehenden Sanierungs- oder Umbauprojekten eine präzise und einfach nutzbare Datengrundlage. Einerseits lassen sich beliebige Schnitte durch das bestehende Bauwerk legen, andererseits kann daraus mit wenig Aufwand ein «digitaler Zwilling» oder BIM-Bestandsmodell erstellt werden *(Fig. 6)*. Dazu ist anzumerken, dass nur die innerhalb des Bauwerks sichtbaren Abmessungen den Laserscan-Aufnahmen entnommen werden können. Wandstärken und weitere nicht sichtbare Abmessungen müssen aus weiteren Grundlagen, z.B. aus Bestandsplänen, entnommen werden. Die Laserscan-Aufnahmen oder BIM-Bestandsmodelle können direkt in die Software zur hydraulischen 3D-Simulation eingelesen werden. Sie bilden damit die geeignete Grundlage für den Aufbau eines hydraulischen 3D-Modells.

WEITERE INFRASTRUKTURBAUTEN

Die Erfahrung zeigt, dass sich die digitale Erfassung und anschliessende Erstellung eines «digitalen Zwillings» auch für andere Infrastrukturbauten eignet. *Figur 7* zeigt einen Ausschnitt eines BIM-Grundlagenmodells eines Wasserreservoirs in der Stadt Zürich. Zur Erstellung des Modells wurden alle Räume, Kammern sowie die Umgebung vermessungstechnisch erfasst. Anschliessend wurde in einem interdisziplinären Projektteam ein umfassendes BIM-Modell in der Software *Revit* erstellt.

VERDANKUNG

Wir bedanken uns beim Abwasserverband Höfe für die Ermöglichung und Mitarbeit beim Praxistest.